

Vorbeifahrtpegel von Straßenfahrzeugen

Wolfram Bartolomaeus

Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: bartolomaeus@bast.de

Einleitung

Der Einfluss von Straßenoberflächen auf Verkehrsgläusche wird u.a. mit dem Statistischen Vorbeifahrtverfahren der ISO 11819-1 in der Messgröße L_{AFmax} ermittelt. Daraus abgeleitet wird der äquivalente Dauerschallpegel L_{AT} nach DIN 45641, der Eingangsgröße des Allgemeinen Berechnungsverfahrens zur Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien nach ISO 9613-2 ist.

Vorausgesetzt wird oft, dass das einzelne Fahrzeug als kohärente Punktquelle modelliert werden kann, bzw. dass die Straße eine inkohärente Linienschallquelle darstellt. Dabei wird meist auch keine Richtcharakteristik angesetzt.

Wie auf der DAGA 2008 gezeigt, können diese bei Simulationsprogrammen der Schallausbreitung (z.B. BEM) und zunehmend auch bei Schallausbreitungsprogrammen (z.B. NORD 2000) getroffenen Annahmen nicht als allgemein gültig angenommen werden, auch wenn im A-bewerteten Ergebnis solcher Rechnungen häufig nur geringe Abweichungen zur Realität bestehen.

Messaufbau

In Abbildung 1 ist die verwendete Messanordnung dargestellt. Der Schalldruck vorbeifahrender Fahrzeuge wird an vier Mikrofonen simultan gemessen und einer Auswertung zugeführt. Zusätzlich wird die Vorbeifahrtgeschwindigkeit ermittelt sowie meteorologische Daten wie Temperatur (von Fahrbahn und Luft) sowie Windgeschwindigkeit und -richtung.



Abbildung 1: Messanordnung für Vorbeifahrtmessung mit vier Mikrofonen. Für die Berechnung der Kohärenz werden die Höhen 1,2 m (gemäß ISO 11819-2) und 4,8 m in 7,5 m Entfernung von der Mitte der Fahrspur verwendet. Das Bild stammt von der B 56, einer Versuchsstrecke der BASt im Rahmen des Projektes "Leiser Straßenverkehr"

Horizontale Richtcharakteristik

Der Pegelzeitverlauf des A-bewerteten Spektrums weist i.A. eine deutliche horizontale Richtcharakteristik auf. In Abbildung 2 ist der mit der Zeitbewertung "FAST" an einem dichten, schallharten Belag (Splittmastixasphalt) gemessene Vorbeifahrtpegel (L_t) sowie eine Anpassungskurve mit einer horizontalen Richtcharakteristik (4.0|3.0) angegeben.

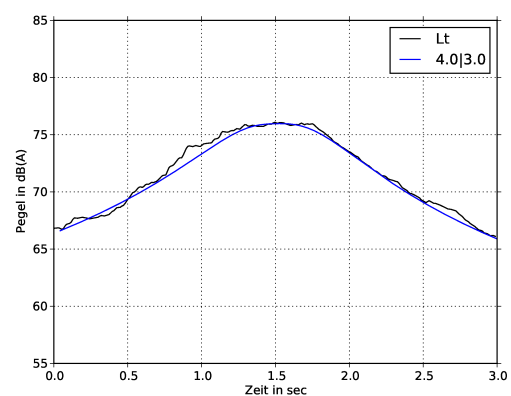


Abbildung 2: Gemessener Pegelzeitverlauf und modellierte horizontale Richtcharakteristik eines auf einem Splittmastixasphaltes mit ca. 80 km/h vorbeifahrenden Pkws.

Die Richtcharakteristik wird hier als Dipol mit Parameter a angesetzt (1):

$$f(\Phi; a) = a \cdot \sin^2(\Phi) \quad (1)$$

Einlauf- und Auslaufbereich können im Einzelfall leicht unterschiedliche Parameter aufweisen. Über einen größeren Anzahl von Fahrzeugen gemittelt ergeben sich aber relativ stabile einheitliche Werte für die unterschiedlichen Straßenbeläge (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Horizontale Richtcharakteristik: Parameter a und Richtwirkungsmaß D_Φ für Pkw bei 80 km/h auf GA=Gussasphalt, ZBJ=Zementbeton mit Jutetuchtextur, SMA=Splittmastixasphalt und OPB=offenporigem Beton

| Belag | 1,2 m | 2,4 m | 3,6 m | 4,8 m | \ominus | D_Φ |
|-------|-------|-------|-------|-------|------------|------------|
| GA | 3,9 | 3,8 | 3,2 | 3,4 | 3,4 | 3,1 |
| ZBJ | 3,6 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,3 | 3,0 |
| SMA | 3,2 | 3,2 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,0 |
| OPB | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |

Das Richtwirkungsmaß D_Φ kann als Abweichung vom Dauerschallpegel L_{AT} definiert werden (2):

$$D_{AT} = D_{\Phi}(a) - 10 \cdot \lg \left(\frac{v \cdot T}{s_{\perp}} \right) \quad (2)$$

Dabei ist v die Geschwindigkeit, T die Integrationszeit und s_{\perp} die senkrechte Entfernung zur Straße.

Für dichte Beläge beträgt das Richtwirkungsmaß ca. 3 dB(A); für offeneporige Beläge ca. 0 dB(A).

Jonasson und Storeheier geben in [1] eine etwas andere (belagsunabhängige?) horizontale Richtcharakteristik an, die aber erst ab 1600 Hz gilt.

Vertikale Richtcharakteristik

Die vertikale Richtcharakteristik lässt sich relativ einfach als Differenz der Maxima der Pegelzeitverläufe an den einzelnen Mikrofonen relativ zur Höhe 1,2 m bestimmen (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Vertikale Richtcharakteristik relativ zur Höhe 1,2 m für GA=Gussasphalt, ZBJ=Zementbeton mit Jutetuchtextur, SMA=Splittmastixasphalt und OPB=openporigem Beton, als Durchschnitt (⊙) sowie der theoretische Werte einer Punktschallquelle (th.)

| Belag | 2,4 m | 3,6 m | 4,8 m |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| GA | -0,4 | -1,2 | -1,9 |
| ZBJ | -0,4 | -0,6 | -1,4 |
| SMA | -1,0 | -1,4 | -2,4 |
| OPB | -1,0 | -1,7 | -2,5 |
| ⊙ | -0,7 | -1,2 | -2,1 |
| th. | -0,2 | -0,4 | -0,7 |

Die vertikale Richtcharakteristik ist (weitgehend belagsunabhängig) ca. dreifach so hoch wie die einer Punktschallquelle.

Kohärenz

Wie Eingangs angedeutet soll jetzt die Annahme der Kohärenz des Schallsignals eines vorbeifahrenden Fahrzeugs untersucht werden.

In Abbildung 3 ist der Kohärenzgrad eines auf Gussasphalt mit ca. 80 km/h vorbeifahrenden Pkws dargestellt.

Die Berechnung des Kohärenzgrades ist in (3) angegeben:

$$\gamma_{XY}^2(f) = \frac{\|W_{XY}(f)\|^2}{W_{XX}(f) \cdot W_{YY}(f)} \quad (3)$$

Dabei ist $W_{XY}(f)$ die Kreuzkorrelationsfunktion (KKF) und $W_{XX}(f)$ bzw. $W_{YY}(f)$ die Autokorrelationsfunktionen (AKF) der Signale X und Y in 1,2 m bzw. 4,8 m Höhe.

Der Kohärenzgrad nimmt (weitgehend belagsunabhängig) ab ca. 400 Hz sehr niedrige Werte an.

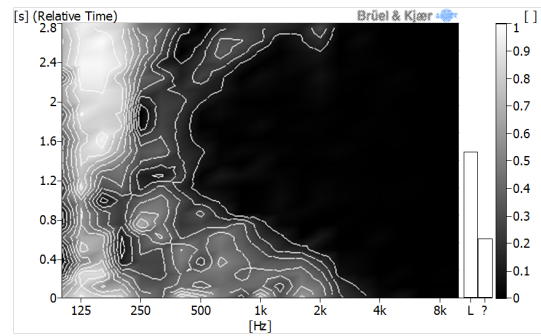


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Kohärenzgrades der Vorbeifahrt eines Pkws mit ca. 80 km/h auf Gussasphalt im Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 kHz

Ausbreitungsmodelle wie NORD2000 oder HARMONoise, aber auch Ausbreitungsrechnungen mit BEM, die eine Kohärenz der Schallquelle voraussetzen, führen daher zu fragwürdigen Ergebnissen.

Zum Zeitpunkt der Vorbeifahrt wird die Kohärenz zusätzlich durch Luftverwirbelungen gestört. Interferenzen in der Ausbreitung sind für Frequenzen ab ca. 250 Hz praktisch ausgeschlossen.

Signalsynthese

Die Größen:

- maximaler Vorbeifahrtpegel,
 - horizontale (und vertikale) Richtcharakteristik und
 - Kohärenzgrad
- kennzeichnen (vollständig?) die Schallabstrahlung eines mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorbeifahrenden Pkws.

In Abbildung 4 ist das schematische Schaltbild für die Signalsynthese eines vorbeifahrenden Pkws angegeben.

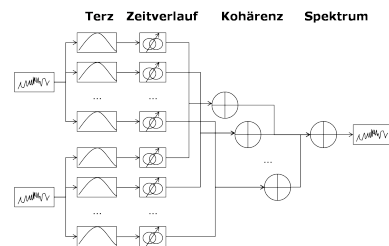


Abbildung 4: Schema der Signalsynthese

Weißes Rauschen wird zunächst in einer Terzfilterbank zerlegt. Die einzelnen Terzrauschsignale werden mit der Vorbeifahrtcharakteristik abgeschwächt. Durch Mischen zweier inkohärenter Signale lässt sich der Kohärenzgrad einstellen. Schließlich wird ein künstliches Zeitsignal generiert. Weitere Effekte (Doppler, Vorbeifahrt-Stoß) können modelliert werden.

Literatur

[1] Jonasson, H.G.; Storeheier, S.: Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise. SP Rapport 2001:10, Borås 2001